

УДК 735.29.(32)

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (ОБЗОР)

Денисенко А.В., Кабанов А.А.

Научный руководитель – д-р. техн. наук, профессор Симонов К.В.

Сибирский федеральный университет

Актуальной задачей является поиск новых предвестников землетрясений и создание теории их природы. Основные цели такого прогноза – определение места, интенсивности и времени возникновения землетрясений. Для решения этой задачи необходимы разработка эффективных методов мониторинга предвестников землетрясений, выяснение их природы, создание адекватных моделей, описывающие эти предвестники, и разработка эффективной стратегии прогноза землетрясений.

В настоящее время существует значительное количество их теоретических моделей разной степени сложности, но, ни одна из них не считается окончательно установившейся в теоретическом плане, и, более того, ни одна не подтверждена экспериментально с удовлетворительной степенью надежности. Проблема сопоставления теоретических моделей и наблюдательных данных, как известно, достаточно сложна и неоднозначна, поскольку связана не только с «несовершенством» теоретических моделей, но и со структурой и качеством первичных наблюдательных данных. Предпринята попытка преодоления указанного «разрыва» при помощи сценарного подхода к исследованию катастроф геодинамической природы на основе спутникового и наземного мониторинга.

В работе рассматриваются следующие аспекты этой проблемы: адаптация методов информатики применительно к проблеме контроля и прогнозирования природных катастроф во всем их многообразии; формирование статистических характеристик природных катастроф с определением пространственно-временных масштабов катастрофических изменений среды. Решение задачи надежной оценки параметров природных катастроф требует создания эффективной информационной технологии для её внедрения в системы мониторинга окружающей среды. Эта технология должна включать разделы, отвечающие за планирование измерений, развитие алгоритмов комплексной обработки данных на различных предметных областях знаний, создание методов принятия решений на основе динамической информации и оценки риска от реализации этих решений.

Представляет интерес идея вертикального развития процесса подготовки серии сильнейших землетрясений и индуктивного развития сейсмического процесса. Согласно которым, серия сильнейших мелкофокусных сейсмических событий рассматривается как следствие выхода к поверхности Земли некой глубинной

аномалии, которая при прохождении через существующие границы неоднородностей земной коры сопровождается выделением энергии сейсмического излучения. Каждое землетрясение стимулирует процесс развития следующего, вызывая интенсивные индуцированные форшоки в месте его будущей локализации. Работа посвящена анализу возможностей наблюдения за развитием сейсмического процесса на основе использования данных спутниковых измерений.

В последние годы появилось большое количество исследований, посвященных поиску предвестников землетрясений в ионосфере и геомагнитном поле Земли. В этих исследованиях можно условно выделить два методических подхода: один из них связан с изучением внутреннего источника, расположенного в земной коре, другой направлен на исследование внешних причин землетрясений, предполагающий, что нестационарные геоэффективные процессы на Солнце и флуктуации межпланетной среды влияют на состояние сейсмической активности. В работе рассмотрено поведение ионосферно-магнитосферных предвестников при искусственно создаваемых ситуациях с высыпанием высокоэнергетических частиц в ионосферу при экспериментальных ядерных взрывах небольшой мощности.

Выполнен анализ данных наземных и спутниковых экспериментов для выявления природы тепловых аномалий и характера лито-атмосферных связей. Показано, что наиболее вероятным источником формирования тепловых аномалий служит изменение влажности почвы. Рассмотрен механизм лито-атмосферных связей: в процессе подготовки землетрясений в эпицентральной зоне и окружающих тектонических разломах начинают выделяться флюиды. На поверхности образуется мозаичная картина предвестников землетрясений: изменение химического состава вод и газа, дебита и уровня колодцев, источников и грунтовых вод, выбросы газа и воды.

Отметим также, что в сейсмических областях степень выраженности разноориентированных линеаментных зон постоянно меняется в зависимости от характера поля напряжений в периоды подготовки и завершения сильнейших землетрясений. Землетрясение происходит в результате концентрации внутрикоровых напряжений и их катастрофической разрядки. Поле напряжений в сейсмогенной зоне при этом изменяется, что приводит к закономерному изменению обусловленных им систем линеаментов. Эта особенность является геодинамическим индикатором-предвестником готовящегося землетрясения. Предлагается автоматизированный линеаментный анализ космических изображений, при этом использование изображений среднего разрешения вместо высокого имеет свои преимущества, т.к. при этом гораздо полнее учитывается одно из самых ценных свойств космического изображения – эффект генерации, позволяющий получать информацию интеграционного характера. Выполненные исследования динамики систем линеаментов, выделяемых на космических изображениях в разных сейсмоопасных регионах, отличающихся геодинамическими режимами, позволяют выявить закономерности изменения систем линеаментов в период подготовки и завершения землетрясений. На их основе при организации мониторинга сейсмоопасных территорий возможно осуществление оценки параметров ожидаемого землетрясения.

Известно, что сейсмическая активность Земли является сложным явлением и зависит от многих факторов и в частности от таких геофизических факторов как: особенности расположения системы Земля-Луна в Солнечной системе, измерение скорости вращения Земли вокруг своей оси, влияние атмосферных эффектов на геофизические поля. Показана связь положения барицентра (центр масс в системе Земля-Луна) с сейсмичностью для различных пространственно-временных масштабов.

Силы притяжения Луны вызывают приливы не только в морях и океанах Земли, но и в твердом теле планеты, по обеим сторонам которой возникают «выступы» высотой около 30 см, ежедневно «обегающие» вокруг нее по мере вращения Земли. Так как вещество планеты не идеально упругое, она как бы «сопротивляется» влиянию их гравитационных сил, искажающих ее форму. На такую реакцию уходит некоторое время – время отставания в реакции Земли на приливные силы. Оно равно около 20 с, за которое наша планета «проворачивается» примерно на 0.08° .

Приливные силы Луны и Солнца деформируют геоид, смещают его твердое внутреннее ядро относительно центра жидкого ядра, изменяют положение оси вращения Земли, момент и скорость её вращения, все геофизические и тектонические процессы. Поэтому приливообразующая сила колеблется во времени. Соответствующим образом меняется сжатие Земли, что в конечном итоге и вызывает приливную неравномерность ее вращения и дополнительную нагрузку на земную кору, которая может спровоцировать сейсмические явления. Наибольшее влияние на приливную активность оказывают колебания с суточным и полусуточным периодом. Приливы связаны с фазами Луны, причем наибольшей высоты они достигают во время новолуний и полнолуний. Кроме того, на величину приливов влияет Солнце. Приливообразующие силы на ничтожную величину – одну девятимиллионную долю – уменьшают силы земного притяжения.

В работе описана «энтропийная модель», согласно которой, под воздействием внешних сил в некоторой области геологической среды происходит накопление энергии (сейсмический очаг). Структура сейсмического очага при достижении предела энергетической прочности пород, разрушается, преобразуясь в другую энергетическую структуру с выделением энергии в виде землетрясений. При этом геологическая структура сейсмического очага «квантует» энергию (энергия выделяется не хаотично, как это принято считать, а «скачками» – «энергетическими квантами», соответствующими определенным энергетическим уровням в фазовом пространстве).

При «термодинамическом» анализе исходных сейсмических данных (сейсмических каталогов) выявляется процесс подготовки сильных землетрясений ($M > 5.0$) в виде так называемого «энергетического клина». «Энергетический клин» соответствует известной сейсмологам стадии «сейсмического затишья» и характеризует снижение энтропии некоторой области фазового энергетического пространства в процессе формирования новой энергетической структуры при подготовке землетрясения (стадия формирования плоскости будущего разрыва).

При «термодинамическом» анализе исходных сейсмических данных (сейсмических каталогов) выявляется процесс подготовки сильных землетрясений ($M > 5,0$) в виде так называемого «энергетического клина». Кроме энергетических уровней, «энергетических клиньев» в сейсмическом термодинамическом процессе проявляются также энергетические стрелы (стрелы времени), которые позволяют восстанавливать и прогнозировать направленность развития процессов во времени. Особенности энергетических процессов при подготовке землетрясений (энергетические уровни, стрелы времени, энергетические клинья) являются общей закономерностью сейсмических процессов.

В работе выполнен анализ процесса подготовки землетрясения произошедшего 10 февраля 2011 года в Алтае–Саянской сейсмоактивной области (АССО). Произведена оценка параметров ожидаемого землетрясения для АССО по комплексу геопредвестников. По данным сейсмического мониторинга 10 февраля 2011 года в 05:35:15 (по Гринвичу) зарегистрировано сейсмическое событие магнитудой 5,5 на юге Красноярского края. Отметим, что предварительно в декабре 2010 г. был составлен прогноз сейсмического события в районе Тээлинского очага в феврале 2011 года магнитудой около 4,0 (прогнозная зона № 2, «ЭЦ РОПР»). Фактически землетрясение произошло в 85 км северо-восточнее от центра прогнозной зоны, что соответствует точности, принятой в методике оценки местоположения ожидаемого сейсмического события ± 100 км. По оценке времени землетрясения прогноз совпал по месяцу. В тоже время оценка магнитуды оказалась заниженной по сравнению с фактической, так как при прогнозе использован более низкий энергетический уровень.

Таким образом, по результатам исследования (обзора) предложены новые методические подходы для систематизации и анализа поступающей информации с инструментальных систем геомониторинга процесса подготовки сильного землетрясения для выделенной очаговой области.